



Escuela  
Universitaria  
Ingeniería  
Técnica  
Industrial  
ZARAGOZA

# Cálculo automático de acciones de viento en naves industriales con Excel

Alumno: Carolina Rodríguez Alonso

Tutor: Víctor Tabuenca Cintora

Convocatoria: Septiembre 2010

Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Mecánica



## Índice

• Introducción .....	3
• Idea de proyecto .....	3
• Objetivo .....	3
• Contenido .....	4
• Guía de cálculo y seguimiento del libro Excel .....	6
⇒ Cubierta múltiple .....	6
– Datos iniciales .....	6
– Coeficiente de presión dinámica .....	7
– Coeficiente de exposición .....	8
– Coeficiente de presión exterior .....	9
Fachada .....	9
Dirección V1, áreas .....	10
Dirección V2, áreas .....	10
Cálculo Cp .....	10
Cubierta .....	12
– Coeficiente de presión interior .....	13
⇒ Cubierta un agua y dos aguas .....	17
• Conclusiones .....	19
• Bibliografía y software .....	20
• Anexo: Ejemplos .....	21



## Introducción

El proyecto contiene tres libros Excel, correspondientes a cubierta un agua, cubierta dos aguas y cubierta múltiple. En los tres casos, habrá una hoja para introducción de datos, y otras dos de tablas. Sólo en el caso de cubierta múltiple, por ser el proceso de cálculo más complejo y largo, se añaden dos hojas de resultados a modo de resumen.

Como anexos, se ha hecho uno, con ejemplos de los tres tipos de cubiertas en Excel y sus cálculos a mano, que verifican que la hoja está correctamente programada. Y otro fuera de la memoria con tablas de coeficientes de presión exterior en cubierta a dos aguas, de los casos más habituales, para facilitar la tarea al usuario, y evitarle así la introducción de datos.

## Idea de proyecto

Primeramente, el proyecto iba a constar de una hoja de cálculo para cada tipo de cubierta que contempla el CTE, cubierta a un agua, a dos aguas, a cuatro aguas, en diente de sierra y múltiple. Pero finalmente se descartó la cubierta a cuatro aguas, ya que no es habitual en construcciones industriales. Y en vez de realizar una hoja para cubierta en diente de sierra y otra para cubierta múltiple, los dos con módulos de luz constante en cada tipo. Se consideró más interesante realizar una sólo para cubierta múltiple, programada para variar la luz de los módulos.

Mencionar, que ha sido un proyecto realizado durante un programa de movilidad Sicue, acordado entre la Universidad de Valladolid y la Universidad de Zaragoza.

## Objetivo del proyecto

Este proyecto se ha realizado con el fin de desarrollar e incrementar los conocimientos de cálculo de acciones de viento en naves industriales adquiridos en la asignatura de Teoría de estructuras y construcciones industriales, durante la carrera de Ingeniería Técnica Industrial Mecánica, mejorar la interpretación del documento básico acciones en la edificación (DB-SE), así como ampliar las nociones de Excel.



## Contenido del proyecto

Consta de tres libros Excel, uno por cada tipo de cubierta. La estructura de los mismos, es similar, teniendo tres hojas “Datos”, “Tablas”, “TablasCp”, y en el caso de cubierta múltiple dos más, “Resultados” y “Resultados Huecos”. Además se incluyen dos anexos, uno con ejemplos de los tres tipos de cubiertas en Excel y sus cálculos a mano, que verifican que la hoja está correctamente programada. Y otro fuera de la memoria con tablas de coeficientes de presión exterior en cubierta a dos aguas, para facilitar la tarea al usuario, y evitarle así la introducción de datos. La pendiente variará entre 10% y 25%, la luz entre 15m a 25m, y la altura de pilar de 7m a 10m, que son los casos más habituales.

En la hoja “Datos” se introducen los datos de la nave (luz, pendiente, altura de pilar...) y se incluye el proceso de cálculo de los coeficientes de exposición y de presión ( $C_e$  y  $C_p$  respectivamente), además de la acción del viento propiamente dicha. Es importante la selección de la zona geográfica así como el grado de aspereza del entorno para el cálculo del coeficiente de exposición ( $C_e$ ). Además permitirá introducir un máximo de dos tipos de huecos por cada fachada, y un tanto por ciento de huecos que permanecerían cerrados, lo que hará posible el cálculo de coeficientes de presión interior ( $C_{pi}$ ), y con ello hacer más completo el cálculo de acciones.

La información de “Tablas” pertenece al CTE, DB-SE. En ésta hoja hay dos tablas, una para la velocidad del viento según la zona geográfica española a la que pertenezca, A, B ó C, y otras para los coeficientes según el grado de aspereza de la zona, I,II,III,IV,V, utilizados para el cálculo del coeficiente de exposición ( $C_e$ ) de fachadas y cubierta.

La hoja “Tablas  $C_p$ ”, contendrá las tablas de los coeficientes de presión exterior ( $C_{pe}$ ) de los paramentos verticales, otras para los  $C_p$  de cubierta respecto a la pendiente, que variarán en un libro u otro según sea el tipo de cubierta (un agua, dos aguas o múltiple). A cada dirección de viento ( $V_1 0^\circ$ ,  $V_2 90^\circ$ ,  $V_3 180^\circ$ ,  $V_4 270^\circ$ ) le pertenece una tabla distinta, ya que el coeficiente de presión ( $C_p$ ) varía, al ser distintas las zonas en las que el viento ejerce presión en cada uno de los casos. Y por último contendrá una tabla de coeficientes de presión interior ( $C_{pi}$ ), aplicado en el caso de existir huecos (puertas, ventanas...) en la nave.

Sólo en el caso de cubierta múltiple, incluimos dos hojas más “Resultados” y “Resultados huecos”, que resume las soluciones del cálculo de acciones considerando huecos cerrados o abiertos. Estas hojas nos serán útiles, ya que la acción en determinadas zonas de todos los módulos es la misma, por lo que el resultado no se repite, y es más sencilla su interpretación.

Para el cálculo se ha utilizado todo tipo de funciones disponibles en Excel, desglosando los cálculos en diferentes celdas auxiliares para evitar la acumulación de funciones largas y de difícil interpretación. En otras ocasiones se ha recurrido a la utilización de agrupaciones de datos, para facilitar el manejo de la hoja Excel, y evitar la introducción por teclado al usuario.

En los tres casos de cubierta, se ha procurado realizar las operaciones de cálculo que resulten más desfavorables. Además se ha intentado abarcar el mayor rango de posibles situaciones para garantizar un cálculo completo y aproximado.

La interfaz de trabajo en las hojas resulta muy sencilla e intuitiva, acompañado de comentarios explicativos en celdas y con un código de colores en cada una, para diferenciar el dato introducido por el usuario, el extraído de tablas, el dato de listas desplegables, y el resultado.

A continuación, se explican los colores utilizados para cada tipo de celda:

Fondo AMARILLO:

### Datos

Estas celdas son los datos que debe de introducir el usuario para el cálculo de acciones, como puede ser los datos propios de la nave, luz, profundidad, pendiente...

Fondo VERDE:

### Desplegables

Estas permiten al usuario la posibilidad de elegir una entre varias opciones, por ejemplo, en el caso de elegir zona geográfica, pues podrá ser A, B o C.

Fondo AZUL:

### Datos tablas

Nos indican que el interior de la celda es un valor obtenido de tablas pertenecientes al CTE, DB-SE.

Fondo MORADO:

### Resultados

Son el resultado del cálculo de coeficientes de exposición, de presión y de las acciones.

Letra ROJA:

### Negativo

Nos indica que el área calculada y visualizada en pantalla es negativa, y por lo tanto el coeficiente de presión correspondiente no existirá.

Fondo BLANCO:

Color común en una hoja Excel, se utiliza para señalar datos de cálculo menos relevantes.

Cualquier otro color que aparezca en los libros no tiene otro significado más que el estético.

En cuanto a la colocación de todas las celdas y su tamaño, así como alguna posible variación del tamaño de la letra son debidas a una mejor calidad de impresión, ya que obtener estos datos en formato no informático puede resultar útil y práctico.

### Guía de cálculo y seguimiento del libro Excel:

Primeramente detallaremos el caso de cubierta múltiple, ya que es el más completo, y a continuación, explicaremos las diferencias que existen con el caso de cubierta a uno y dos aguas.

### Cubierta múltiple:

#### Datos iniciales:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2	1. DATOS DE PARTIDA									
3										
4	Datos globales									
5	Luz	d=	73,00	m	nº de módulos	n=	4			
6	Longitud	b=	60,000	m						
7	Altura de pilar	h1=	7	m	Se considera fachada abierta					
8	Modularidad	m=	5,000	m	con:		8	% huecos/fachada		
9										
10	Datos por módulo									
11		Luz (d)	P(%)	(α)	Alt.cum (h)	c.d.g. (y)	Área fachada frontal			
12										
13	1	15			8,125	3,7882231	113,4375			
14	2	20			8,500	3,8870968	155			
15	3	20			8,5	3,8870968	155			
16	4	18			8,350	3,8473941	138,15			
17	5	0	15	8,531	0,000	0	0			
18	6	0			0,000	0	0			
19	7	0			0,000	0	0			
20	8	0			0,000	0	0			
21	9	0			0,000	0	0			
22	10	0			0,000	0	0			

Corresponde a la hoja "Datos", introducción de datos de la nave.

Esta hoja se ha diseñado para una cubierta múltiple con un máximo de 10 módulos, cuando no existan, se pondrá luz nula (d=0) en la introducción de datos de los mismos. Se acordó, para simplificar la hoja de cálculo, mantener determinados datos constantes, ya que a efectos prácticos hay algunos como la altura de pilar (h1) y la pendiente (p) que no suele ser habitual que varíen en este tipo de cubiertas.

Se introducirá un % de huecos que deberá tener la fachada respecto a su área total, para poder considerarla fachada abierta.

A continuación detallamos cada uno de los parámetros introducidos.

d: Luz total de la nave con “n” módulos.

$\sum d$  de todos los módulos. Variable en cada módulo.

b: Profundidad de la nave, común para todos los módulos.

h1: Altura de pilar, común para todos los módulos.

m: modularidad, distancia entre pórticos.

Introducimos la luz de cada módulo (d) pudiendo ser distinta en cada uno de ellos.

P (%): Pendiente de cubierta, común para todos los módulos.

$\alpha$ : Inclinación de cubierta, calculada a partir de la pendiente

$$\alpha = \arctg(p/100)$$

h: Altura a cumbrera, calculada a partir de h1,  $\alpha$ , d( módulo). Variable en cada módulo.

$$h = h1 + tg(\alpha) \cdot d/2$$

y: cota de suelo a c.d.g de la fachada principal, utilizada para calcular el coeficiente de exposición de la misma fachada. Variable en cada módulo.

A: Área de la fachada principal de cada módulo, utilizado para calcular el coeficiente de exposición de la fachada principal.

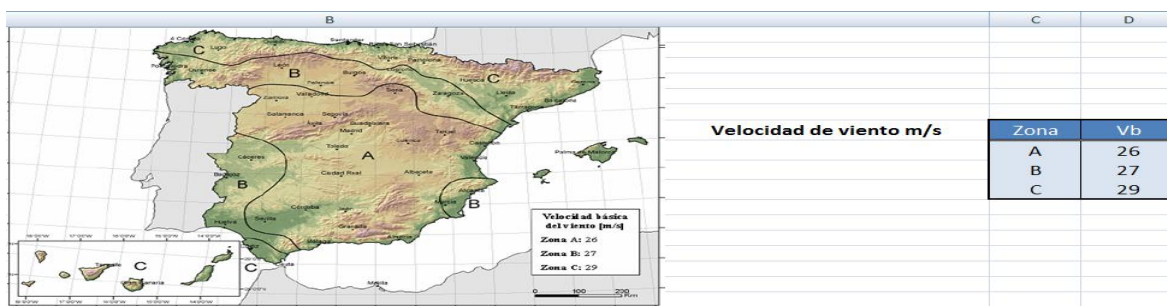
### Coeficiente de presión dinámica:

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
25	<b>2. VIENTO</b>								
26	$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$								
27	<b>PRESIÓN DINÁMICA</b>								
28	$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2$								
29	Densidad	$\delta =$	1,250	Kg/m <sup>3</sup>					
30	Zona geográfica	A							
31	Velocidad del viento	$V_b =$	26	m/s					
32									
33	<b>Presión dinámica</b>	$q_b =$	0,423	KN/m <sup>2</sup>					
34									



Hoja “Datos”, cálculo de la presión dinámica.

La densidad del aire ( $\delta$ ) permanece constante, sin embargo la velocidad del viento ( $V_b$ ) dependerá de la zona geográfica A, B o C, a la que pertenezca la provincia donde se ubicará la nave. Las distintas velocidades Excel lo extrae de la hoja "Tablas", dependiendo de la zona elegida por el usuario .



Hoja "Tablas", velocidad de viento por zona geográfica ( $V_b$ ).

Ya con los datos de la densidad y la velocidad del viento, se calcula la presión dinámica ( $q_b$ )

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2$$

### Coefficiente de exposición:

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
35	<b>COEFICIENTE DE EXPOSICIÓN</b>										
36	ce=F·(F+7·k)										
37											
38	Grado de aspereza del entorno	IV Zona urbana en general, industrial o forestal									
39		k=	0,220		L=	0,3	m	Z=	5	m	
40											
41	<b><u>Fachada lateral</u></b>										
42	Altura sobre terreno	z=	3,500	m							
43		F=	0,619								
44											
45		Ce=	1,336								
46	<b><u>Fachada frontal</u></b>										
47	Altura sobre terreno	z=	4,217	m							
48		F=	0,619								
49											
50		Ce=	1,336								
51	<b><u>Cubierta</u></b>										
52	Altura sobre terreno	z=	7,563	m							
53		F=	0,710								
54											
55		Ce=	1,597								

Hoja "Datos", cálculo de coeficientes de exposición

Mediante un desplegable, el usuario elige la zona a la que pertenece la ubicación de la nave, y asociado a cada una de las zonas (I,II,III,IV,V) hay unos coeficientes k, L Z, obtenidos de la siguiente tabla:



	B	C	D	E
19				
20	<b>Coefficientes para tipo de entorno</b>			
21		Grado de aspereza	k	L (m) Z (m)
22	I Borde de mar o de lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,15	0,003	1
23	II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1
24	III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2
25	IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5
26	V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1	10

Hoja "Tablas", coeficientes de grado de aspereza del entorno.

Estos coeficientes, se utilizarán para el cálculo de  $F=K \cdot \ln(\max(z,Z)/L)$ , siendo  $z$ , la cota sobre terreno del c.d.g de cada una de las fachadas y de la cubierta. Ya deducidos, el cálculo del coeficiente de exposición, se deduce a una simple expresión matemática  $C_e=F \cdot (F+7k)$ .

### Coeficiente de presión exterior:

#### Fachada

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
55	<b>COEFICIENTE DE PRESIÓN</b>									
56										
57	<b>FACHADA</b>									
58										
59										
60										
61										
62										
63										
64										
65										
66										
67										
68										
69										
70	<b>V1 (0°) Dirección -45° ≤ θ ≤ 45°</b>					<b>V2 (90°) Dirección 45° ≤ θ ≤ 135°</b>				
71										
72										
73										
74										
75										
76										
77										
78										
79										
80										

V1 (0°) Dirección -45° ≤ θ ≤ 45°			V2 (90°) Dirección 45° ≤ θ ≤ 135°		
e=min (b,2h)= 16,700 m			e=min (d,2h)= 16,700 m		
esbeltez h/d= 0,102			esbeltez h/b= 0,139		
	Áreas	Cpe		Áreas	Cpe
A=	11,66 m²	-1,200	A=	11,690 m²	-1,200
B≥10	m²	-0,800	B=	105,21 m²	-0,800
C≥10	m²	-0,500	C=	303,10 m²	-0,500
D=	420,0 m²	0,800	D=	566,6 m²	0,800
E=	420,0 m²	-0,500	E=	566,6 m²	-0,500

Hoja "Datos", áreas y coeficientes de presión de fachada.

Primero calculamos los coeficientes de presión de los paramentos verticales (fachadas). Para ello los paramentos se dividen en zonas A, B, C, D y E dependiendo cual sea la dirección de viento. Teniendo en cuenta que la superficie D, siempre será sobre la que incida el viento, en la dirección V1, el área D corresponde a la indicada en la figura, sin embargo en la dirección V2, será la superficie frontal de la figura, es decir A+B+C.



Para calcular las distintas áreas, es necesario hallar el coeficiente “e”, y la esbeltez h/d ó h/b según sea la dirección del viento.

Dirección V1, áreas:

A: Se ha supuesto que la cota e/10, correspondiente a la anchura de éste área, no sobrepasará el primer módulo, ya que depende de “e”, y éste del mínimo entre b y 2h, “e” en ésta dirección de

viento será 2h, ya que no es habitual que sea la nave más alta que profunda. Por lo que e/10 será menor que “d” y por lo tanto del primer módulo .

$$e/10 \cdot (h1 + e/10 \cdot (Tg \alpha)/2)$$

B y C: Se considera que sean siempre mayores que 10, ya que el único caso que no se cumpliría es si no existiera C, algo que en este tipo de cubierta es poco común que “e” sea mayor que “d” acumulada.

D y E: Área de fachadas laterales.

$$b \cdot h1$$

Dirección V2, áreas:

A:  $e/10 \cdot h1$

B:  $(e - e/10) \cdot h1$

C:  $(b - e) \cdot h1$

D y E: Suma de todas las áreas de fachada previamente calculadas.

Cálculo de Cp:

En las dos direcciones de viento se considera que la esbeltez oscilará entre  $\leq 0,25$  y 1. El área de cada una de las zonas puede variar de 5 a  $\geq 10$ . Ya que suele ser lo más habitual en este tipo de edificación.

Para A, B y C, sea cual sea la esbeltez, el Cp (correspondiente a cada área) permanece constante. Por lo que dependerá únicamente del valor del área. En el caso de ser 5, ó  $\geq 10$ , el Cp se recoge en “TablasCp”, si es un valor intermedio la hoja está programada para que interpole linealmente entre esas dos áreas.

Para D y E, su área va a ser siempre  $\geq 10$ , de otra forma, las dimensiones de la nave no tendrían sentido. Teniendo en cuenta esto, si la esbeltez es  $\leq 0,25$  o 1, el Cp se recoge en “Tablas Cp”, si es un valor intermedio la hoja está programada para que interpole linealmente entre esas dos esbelteces.



	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>Coeficientes de presión exterior</b>						
2	<b>Paramentos verticales. Fachada</b>						
3	<b>V1: Dirección <math>-45^{\circ} \leq \theta \leq 45^{\circ}</math></b>						
4	<b>V2: Dirección <math>45^{\circ} \leq \theta \leq 135^{\circ}</math></b>						
5	<b>V3: Dirección <math>135^{\circ} \leq \theta \leq 225^{\circ}</math></b>						
6	<b>Área (m2)</b>	<b>Esbeltez</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
7	$\geq 10$	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
8		1	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,5
9		$\leq 0,25$	-1,2	-0,8		0,7	-0,3
10	5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
11		1	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,5
12		$\leq 0,25$	-1,3	-0,9	-0,5	0,8	-0,3
13	2	5	-1,3	-1	-0,5	0,9	-0,7
14		1	-1,3	-1	-0,5	0,9	-0,5
15		$\leq 0,25$	-1,3	-1	-0,5	0,9	-0,3
16	$\leq 1$	5	-1,4	-1,1	-0,5	1	-0,7
17		1	-1,4	-1,1	-0,5	1	-0,5
18		$\leq 0,25$	-1,4	-1,1	-0,5	1	-0,3

Hoja "TablasCp", coeficientes de presión de fachada.

## Coeficiente de presión exterior:

### Cubierta

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
<b>CUBIERTA</b>									
<b>V1 (0°) Dirección -45° ≤ θ ≤ 45°</b>									
<b>1º módulo</b>									
e= min (b,2h)=	16,250	m		d1=	15	m			
α=	8,531	grados		b=	60,000	m			
	α > 0°			<b>Caso 1</b>					
	α < 0°			Áreas					
	Planta			(grados)	F	G	H	I	J
				5	6,675	85,240	356,4	356,44	98,59
				A ≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
				A ≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-0,6	0,2
				8,531	A ≥ 10	-1,418	-1,059	-0,494	-0,529
				A ≤ 1	-2,323	-1,823	-0,882	-0,529	-0,400
				15	A ≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4
				A ≤ 1	-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5
				Cpe=	-1,577	-1,059	-0,494	-0,529	-0,224
				<b>Cp corrector=</b>	<b>-1,577</b>	<b>-1,059</b>	<b>-0,494</b>	<b>-0,529</b>	<b>-0,224</b>
				<b>Caso 2</b>					
				Áreas					
				(grados)	F	G	H	I	J
				5	6,675	85,240	356,4	356,44	98,59
				A ≥ 10	0	0	0	-0,6	-0,6
				A ≤ 1	0	0	0	-0,6	-0,6
				8,531	A ≥ 10	0,071	0,071	0,071	-0,388
				A ≤ 1	0,071	0,071	0,071	-0,388	-0,388
				15	A ≥ 10	0,2	0,2	0,2	0
				A ≤ 1	0,2	0,2	0,2	0	0
				Cpe=	0,071	0,071	0,071	-0,388	-0,388
				<b>Cp corrector=</b>	<b>0,071</b>	<b>0,071</b>	<b>0,071</b>	<b>-0,388</b>	<b>-0,388</b>

Resultado de interpolación,  
entre estos dos valores.

Resultado expresión  
matemática, ya que 1 < A < 10,  
Cp cubierta 2 aguas

Hoja "Datos", coeficientes de presión de cubierta.

El procedimiento de cálculo de Cp para cubierta, es similar al de fachada. Se calculan las áreas de las zonas F, G, H, I, J. Se carga en tabla la primera pendiente inferior y superior, y los Cp correspondientes a cada zona y área (A ≥ 10 y A ≤ 1), obtenido de la hoja "tablasCp" y de la tabla adecuada. Se interpola linealmente entre esos valores, para obtener los debidos a la pendiente de nuestra cubierta. Si el área de la zona es ≥ 10 o ≤ 1, el Cp es el calculado por interpolación, si está entre esos dos valores, (como en este caso F), el Cp se calculará con la expresión matemática:

$$Cp1 + (Cp10 - Cp1) \cdot \log A$$

Siendo Cp1 el Cp del área ≤ 1, Cp10 el Cp del área ≥ 10, y A el área de la zona.

En cubiertas múltiples, según el CTE, cada módulo se trata como cubierta a dos aguas individual, y una vez calculados los Cp, se le aplica un coeficiente corrector, mostrado en la figura de Cp de fachada, que nos dará los Cp de nuestro tipo de cubierta.





las dimensiones de los huecos en cada fachada, ya que podrán ser distintos en cada una de ellas. Además la hoja está programada para introducir hasta un máximo de dos tipos de huecos diferentes en cada una de las fachadas (puertas, ventanas de diferentes dimensiones por ejemplo).

Se podrá hacer los cálculos, fijando un % de huecos que permanecerán cerrados en cada una de las fachadas. A partir de éste porcentaje, se calculará el porcentaje de huecos abiertos por fachada. Si es igual o mayor al fijado como dato, el área de huecos se tendrá en cuenta para  $A_t$  de huecos, si no Excel visualizará el valor cero.

Habrà una relación  $A_s/A_t$  por cada una de las 4 direcciones de viento (una por fachada), ya que el área de huecos de succión  $A_s$ , al poder ser los huecos distintos en cada fachada, varían según sea la dirección.

Con dicha relación  $A_s/A_t$ , y la esbeltez en cada dirección de viento, podremos calcular  $C_{pi}$  (coeficiente de presión interior) interpolando entre los valores correspondientes a esbeltez  $<1$  y  $>4$  de las tablas de CTE, incluidas en la hoja "TablasCp".

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
573													
574	Esbeltez												
575	(V1)	h/d	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
576		≤1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5
577		0,102	0,700	0,700	0,600	0,400	0,300	0,100	0,000	-0,100	-0,300	-0,400	-0,500
578		≥4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3
579													
580													
581	(V2)	h/b	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
582		≤1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5
583		0,139	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,500
584		≥4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3
585													
586													
587	(V3)	h/d	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
588		≤1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5
589		0,102	0,700	0,700	0,600	0,400	0,300	0,100	0,000	-0,100	-0,300	-0,400	-0,500
590		≥4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3
591													
592													
593	(V4)	h/b	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
594		≤1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5
595		0,139	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,500
596		≥4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3
597													
598													
599	Coeficientes presión interior		V1 Cpi=	-0,1									
600			V2 Cpi=	-0,1									
601			V3 Cpi=	-0,1									
602			V4 Cpi=	-0,5									

Hoja "Datos", coeficientes de presión interior.



## Cálculo automático de acciones de viento en naves industriales con Excel



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
79	<b>Coefficientes de presión interior</b>											
80												
81	Esbeltez en el plano paralelo al viento	Área de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos de edificio										
82												
83												
84		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
85												
86	≤1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5
87	≥4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3

Hoja "TablasCp", coeficientes de presión interior.

Si en al menos dos de los lados del edificio, el área total de huecos excediera el 30% del área total del lado considerado, la acción del viento se determinaría considerando la estructura como una marquesina, por lo que la hoja no nos serviría ya que necesitaríamos tablas del CTE distintas a las contenidas en nuestro libro Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
606	<b>CÁLCULO DE ACCIONES</b>													
607														
608														
609														
610														
611														
612														
613														
614														
615														
616														
617														
618														
619														
620														
621														
622														
623														
624														
625														
626														
627														
628														
629														
630														
631														
632														

Hoja "Datos", cálculo de acciones.

Se calcularán acciones para cada dirección de viento, caso, módulo, áreas de cubierta y fachada.

Primeramente se calcula la presión estática con huecos cerrados (tomando como  $C_p=C_{pe}$ ) y abiertos (considerando el coeficiente de presión interior además del exterior  $C_p=C_{pe}+C_{pi}$ )

$$Q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Y el resultado se multiplica por la modularidad (distancia entre pórticos) para obtener la acción por metro lineal.

$$Q_v = Q_e \cdot m$$

También se clacula la media ponderada por metro lineal sobre pórtico en cada paño.

Los resultados de las acciones están precedidos por todos los coeficientes utilizados para su cálculo, pero esto sólo resultará práctico en casos muy puntuales. Por lo que como exponíamos a principio de la memoria, en el caso de cubierta múltiple, se han añadido dos hojas más, para facilitar la interpretación de las acciones, “Resultados” y “Resultados Huecos” de los mismos, ya que sólo se muestran los resultados de forma resumida, teniendo en cuenta en las áreas en las que el valor de la acción es la misma.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	RESUMEN RESULTADOS ACCIONES														
2															
3	Huecos cerrados			Módulos											
4	Dirección		Áreas	1	2 izq.	2 dcha.	3	4	5	6	7	8	9	10	
5	Fachada (común a todas las direcciones)		A	-3,387											
B			-2,258												
C			-1,411												
D			2,258												
E			-1,411												
10	V1 / V3	Caso 1	F	-5,320	-5,248		-3,149	-3,149	-3,222	-	-	-	-	-	
11			G	-3,573		-2,144									
12			H	-1,667		-1,000									
13			I	-1,786	-1,072										
14		J	-0,755	-0,453											
15		Caso 2	F	0,238				0,143							
16			G												
17			H												
18	I		-1,310	-0,786											
19	J														
20	V2 / V4	Caso único	F	-5,567	-5,367	-3,220	-3,220	-3,220	-3,500	-	-	-	-	-	
21			G	-4,966	-4,746	-2,847	-2,847	-2,847	-3,156	-	-	-	-	-	
22			H	-2,243		-1,346									
23			I	-1,906		-1,143									

Hoja “Resultados”.

En esta tabla, se deja a la interpretación del usuario, que si el módulo no existe, no habrá acción de viento aunque en la hoja de cálculo figure un resultado. Es el resultado correspondiente si existiera ese módulo, independientemente de la luz que fijáramos para el mismo.



### Cubierta un agua y dos aguas:

A continuación, detallaremos solamente los pasos de cálculo diferentes a los del caso de cubierta múltiple, ya que éste es el más completo.

La introducción de datos es igual para los dos tipos de cubierta, y mucho menos complejo que para cubiertas múltiples.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K			
2	<b>1. DATOS DE PARTIDA</b>													
3														
4	Luz	d=	20,000	m	Modularidad	m=	5,000	m						
5	Longitud	b=	60,000	m		h1=	7	m						
6	Altura hasta cumbrera	h=	10,000	m										
7	Pendiente	p=	15,000	%	Se considera fachada abierta									
8	Ángulo de inclinación	$\alpha$ =	8,531	grados	con:		8	% huecos/fachada						
9	cubierta													

Hoja "Datos" introducción de datos de la nave.

## COEFICIENTE DE EXPOSICIÓN

### FACHADA

**V1 (0°) Dirección  $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$**

$$e = \min(b, 2h) = 20,000 \text{ m}$$

$$\text{esbeltez } h/d = 0,500$$

Áreas	Cpe
A= 14,300 m <sup>2</sup>	-1,200
B= 155,70 m <sup>2</sup>	-0,800
C= 0,000 m <sup>2</sup>	-
D= 420,00 m <sup>2</sup>	0,733
E= 600,00 m <sup>2</sup>	-0,367

**V2 (90°) Dirección  $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$**

$$e = \min(d, 2h) = 20,000 \text{ m}$$

$$\text{esbeltez } h/b = 0,167$$

Áreas	Cpe
A= 20,000 m <sup>2</sup>	-1,200
B= 180,00 m <sup>2</sup>	-0,800
C= 400,00 m <sup>2</sup>	-0,500
D= 170,00 m <sup>2</sup>	0,700
E= 170,00 m <sup>2</sup>	-0,300

Hoja cubierta un agua, "Datos" cálculo de Cp exterior de fachada.

En cubierta a un agua, se ha calculado los coeficientes de presión, considerando cuatro direcciones de viento, debido a que la nave no es simétrica. En cambio para la cubierta a dos aguas, sólo se han tenido en cuenta dos, a 0° y a 90°, ya que por simetría, los coeficientes correspondientes a 180° y 270° son los mismos que los de las dos otras direcciones respectivamente.



Cuando “d” o “b” (dependiendo la dirección evaluada) sea igual que “e”, el área de C será nula, y por lo tanto, el coeficiente de presión asociado a esa zona, no existirá. En este caso, aparecerá por pantalla un “-” en la casilla del coeficiente.

Cuando “d” o “b” sea menor que “e”, el área de C será negativa, y el color de fuente será rojo. En la casilla del coeficiente, se visualizará lo mismo, que en el caso anterior, “-”.

El resto del cálculo es igual que el de múltiple, cálculo de coeficientes en cubierta, coeficientes de presión interior, también evaluado en cuatro direcciones, ya que el número y dimensiones de los huecos puede variar según cuál sea la fachada, y el cálculo de acciones como tal.

Lo único diferente será, como dijimos al principio de la memoria, que estos casos al ser menos complejos, no tendrán hojas de resultados de acciones.



---

### Conclusiones:

- He podido comprobar con la realización de este proyecto, que Excel no es sólo una herramienta que facilita la contabilidad y organización de una empresa, sino que las posibilidades que tiene son muy altas, pudiendo ser utilizadas para casi cualquier tipo de cálculo aprendido a lo largo del curso académico.
- Los resultados obtenidos siempre han sido calculados de una manera ajustada al caso más desfavorable posible. En el caso, de que los resultados calculados a manos y los obtenidos en la hoja no coincidieran, ninguno de los dos sería erróneo. La acción calculada manualmente, en este caso sería más exacta, pero el visualizado por Excel, estaría del lado de la seguridad, y por tanto al ser más desfavorable, sería válido.



### **Agradecimientos:**

En primer lugar agradecer a la Universidad de Zaragoza y a la Universidad de Valladolid, por concederme el convenio de intercambio, que sin ello no hubiera sido posible vivir ésta enriquecedora experiencia.

Al profesorado de la Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos Industriales de Zaragoza y los de la Escuela Politécnica de Valladolid por enseñarme los conocimientos adquiridos a lo largo de toda la carrera y que posteriormente me han sido necesarios para la realización de éste proyecto a los cuales agradezco su trabajo. Especialmente a Víctor Tabuenca Cintora, profesor titular de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza, por ofrecerme y asesorarme en un proyecto que me ha servido para ampliar mis conocimientos de cálculo de acciones en la edificación.

Y por último, y no menos importante, a mi familia, novio, amigos y a todas las personas que siempre me han ayudado, por su apoyo, paciencia y cariño.

### **Bibliografía y software:**

- Código Técnico de la Edificación
- Apuntes de Teoría de estructuras y construcciones industriales.
- [www.codigotecnico.org](http://www.codigotecnico.org)
- Microsoft Excel
- Microsoft Word
- Microsoft Paint
- Adobe Acrobat



# Anexo: Ejemplos Excel y Comprobación

- Cubierta un agua
- Cubierta dos aguas
- Cubierta múltiple